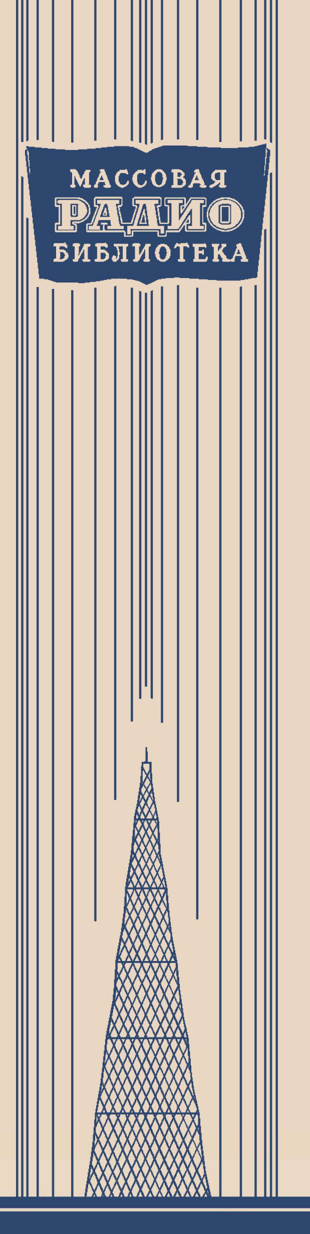
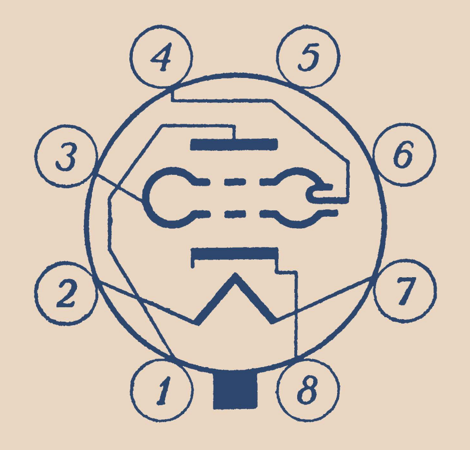


А. И. ЗИНЬКОВСКИЙ

КЛИСТРОН





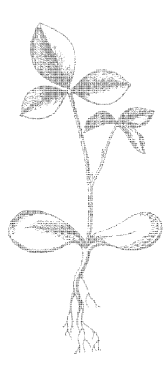
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 322

А. И. ЗИНЬКОВСКИЙ

КЛИСТРОН





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

В брошюре изложены физические основы работы клистрона — одного из наиболее распространенных электровакуумных приборов для сверхвысоких частот, а также помещены сведения о практическом использовании клистрона в радиоаппаратуре.

Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

СОДЕРЖАНИЕ

Зиньковский Абрам Исаакович

КЛИСТРОН

Редактор *И. П. Жеребцов* Техн. редактор *Г. И. Матвеев*

Сдано в набор 3/IV 1958 г. Подписано к печати 24/XII 1958 г.
Т-12443 Бумага 84×108[1]/32 0,82 печ. л. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 30 000 экз. Цена 40 коп. Заказ № 1461

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ЧТО ТАКОЕ СВЕРХВЫСОКИЕ ЧАСТОТЫ

Через всю историю радиотехники красной нитью проходит стремление к освоению все более коротких волн, к генерированию как можно более высокочастотных колебаний. Что же заставляло повышать частоту колебаний генераторов? Оказывается, что по мере укорочения длины волны сильно возрастает способность антенн концентрировать электромагнитные волны в узкий пучок и открывается возможность устройства чрезвычайно экономных линий радиосвязи, свободных от излучения волн в бесполезных направлениях. Неоценимыми качествами обладает узкий радиолуч и при использовании его в радиолокации, где обнаружение небольших объектов и слежение за ними возможно только при малых угловых размерах пучка электромагнитных волн. При этом длина волны обязательно должна быть много меньше, чем размеры объекта.

Диапазоном сверхвысоких частот (СВЧ) принято называть часть спектра электромагнитных колебаний с частотой 300—300 000 *Мгц*, т. е. с длиной волны от 1 *м* до 1 *мм*. Границы диапазона СВЧ в известной мере условны.

Современная радиотехника продвинулась очень далеко в область колебаний СВЧ. Генерируются такие короткие волны (миллиметровые), которые испытывают сильное поглощение в атмосфере и уже не представляют практического интереса для связи на больших расстояниях. Зато они находят применение для генерирования колебаний весьма стабильной частоты, а также в радиоспектроскопии — новой, бурно развивающейся области радиофизики.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ ДЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Для СВЧ характерен очень малый период колебаний, соизмеримый со временем пролета электронов между электродами лампы. Поэтому, если на электроды действует переменное напряжение СВЧ, вовсе не безразлично, какую

долю периода колебаний затратит электрон на пролет от одного электрода до другого.

Хотя электрон весьма мал, но все же он имеет некоторую массу и разогнать его до очень больших скоростей трудно.

Представим себе, что электрон летит от катода триода к сетке. При некоторой частоте колебаний напряжения на сетке и некоторой скорости электрона время его пролета на участке сетка—катод может оказаться намного больше периода колебаний, и тогда пролет электронов сквозь сетку к аноду станет делом счастливого случая. Это приведет к нарушению нормальной работы лампы.

Разработка электронных ламп, предназначенных для работы на СВЧ, проводилась и поныне проводится в двух основных направлениях. Во-первых, конструкторы стремятся сделать предельно малым расстояние между электродами, чтобы уменьшить время пролета до величин, меньших периода колебаний. Созданы триоды с расстоянием между катодом и сеткой около 10 *мк*, которые генерируют даже на частоте 10 000 *Мгц*. Во-вторых, конструкторы радиоламп ищут новые принципы генерирования и усиления колебаний СВЧ. Общей особенностью новых принципов является устранение вредного влияния времени пролета на работу лампы. Такие приборы, как клистрон, лампы бегущей и обратной волны и ряд других, построены на совершенно необычных для прежней электровакуумной техники принципах.

В технике высоких частот электронная лампа и колебательный контур являются самостоятельными элементами, входящими в состав генератора или усилительного каскада. Соединение лампы с контуром осуществляется отрезками проводов, причем длина их может достигать нескольких сантиметров.

В технике СВЧ, особенно на самых высоких частотах, лампа и контур сливаются в одно целое, а соединительные провода вообще не могут применяться. Ведь провод длиной в несколько сантиметров для волн длиной от миллиметров до сантиметров являлся бы антенной, которая давала бы интенсивное излучение в окружающее пространство.

На СВЧ лампу с контуром приходится объединять не только из-за недопустимости использования проводов, а также и потому, что колебательный контур для сантиметровых волн является очень своеобразным устройством.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Когда мы говорим «колебательный контур», то прежде всего вспоминаем о том, что он состоит из катушки и конденсатора, соединенных проводами. В катушке сосредоточено магнитное, а в конденсаторе — электрическое поле.

Своеобразие контура для СВЧ состоит в том, что он представляет собой обычно замкнутый объем, отгороженный от окружающего пространства хорошо проводящими (например, посеребренными) металлическими стенками. Подобный колебательный контур называют объемным резонатором или объемным контуром. Форма объемного резонатора может быть цилиндрической, прямоугольной, тороидальной и т. п.

Представим себе цилиндрический объемный резонатор, по оси которого сквозь отверстия, проделанные в верхней и нижней крышках, проходит тонкий пульсирующий пучок электронов. Такой пучок электронов, подобно антенне, будет излучать электромагнитные волны в ограниченное металлическими стенками замкнутое пространство, причем частота этих волн равна частоте пульсаций. Стенки объемного резонатора, сделанные из хорошо проводящего материала, будут без больших потерь отражать падающие на них волны. Если подобрать частоту пульсаций электронного пучка сообразно с размерами резонатора, то в нем возникнет явление резонанса.

В цилиндрическом резонаторе силовые линии электрического поля будут располагаться параллельно оси цилиндра, а магнитные силовые линии образуют систему концентрических колец, центры которых лежат на оси.

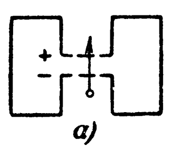
Осталось очень немного сделать для того, чтобы получилась лампа для генерации колебаний СВЧ: надо откачать воздух из объемного резонатора (иначе электроны не смогут беспрепятственно пролетать сквозь контур), сделать «электронную пушку», которая снабжала бы все устройство непрерывным потоком электронов, и научиться превращать этот поток в пульсирующий во времени.

Подобно колебательному контуру, состоящему из катушки и конденсатора, объемный резонатор также имеет резонансную частоту, которая зависит от его геометрических размеров. Чем меньше размеры контура, тем выше частота. Например, частота цилиндрического объемного контура тем выше, чем меньше его диаметр. Высота цилиндра на резонансную частоту не влияет.

Прежде чем перейти к описанию клистрона, надо разобраться в том, при каких условиях энергия летящего электрона переходит в энергию электромагнитного поля, сосредоточенного в объемном резонаторе.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ОБЪЕМНЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Пусть цилиндрический объемный резонатор имеет разную высоту: малую — посредине и большую — на периферии. Такой резонатор называется тороидальным. Его сечение осевой плоскостью приведено на рис. 1. Предположим, что в нем каким-то образом уже возбуждены электромагнитные колебания на его резонансной частоте. Тогда между верхней и нижней внутренними поверхностями центральной части резонатора будет действовать переменное электрическое поле и на этих поверхностях будут периодически возникать и исчезать электрические заряды противоположного знака.



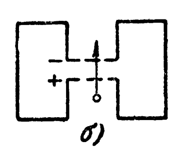


Рис. 1. Схема взаимодействия электрона с объемным резонатором.
а — электрон летит в ускоряющем поле; *б* — электрон летит в тормозящем поле.

Если электронная пушка находится внизу, то электрон, пролетая сквозь резонатор в момент времени, соответствующий рис. 1,*а*, будет дополнительно ускоряться за счет поля резонатора. За пределы резонатора электрон вылетит с большей скоростью, чем та, с которой он в него влетел. Следовательно, электрон приобретет дополнительную энергию сверх сообщенной ему электронной пушкой, а электромагнитное поле резонатора лишится соответствующей части заключенной в нем энергии. Но целью создания лампы является не этот процесс, а как раз обратный, т. е. увеличение энергии электромагнитного поля, содержащегося в резонаторе, и преобразование энергии источников питания в энергию колебаний СВЧ.

Посмотрим, что произойдет, если электрон пролетит сквозь резонатор в момент времени, соответствующий рис. 1,*б*.

Поле резонатора будет тормозить движение электрона. Он вылетит из резонатора с уменьшенной скоростью, т. е. с некоторой потерей первоначальной энергии. Куда же де-

лась та доля энергии, которую потерял электрон, пролетая через резонатор?

Согласно закону сохранения энергии, являющемуся всеобщим законом природы, энергия не может исчезнуть бесследно, а лишь способна преобразовываться из одного вида в другой. В данном случае часть кинетической энергии движущегося электрона переходит в энергию электромагнитного поля, заключенного в объемном резонаторе.

Мы получили желаемый результат: *электрон отдает часть своей кинетической энергии резонатору, если он попадает в тормозящее поле резонатора.*

Примером использования взаимодействия резонатора с электронным пучком является клистрон. Такое название эта лампа получила потому, что движение электронов в клистроне напоминает морской прибой (слово «клистрон» по-гречески означает «морской прибой»).

Клистроны выпускаются на самые различные длины волн, примерно от нескольких миллиметров до 70—80 *см*, охватывая практически весь диапазон СВЧ. Мощности клистронов составляют от нескольких милливатт для режима непрерывной работы до десятков мегаватт у импульсных клистронов дециметрового диапазона. Радиопромышленность выпускает генераторные, частотоумножительные и усилительные клистроны. Можно встретить клистроны с одним, двумя и бо́льшим числом объемных резонаторов.

ПРОЛЕТНЫЙ ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЙ КЛИСТРОН

На рис. 2 приведена схема устройства пролетного двухрезонаторного клистрона (пролетными в отличие от отражательных называют такие клистроны, в которых электроны перемещаются в одном направлении).

Внизу расположена электронная пушка. Создаваемый ею поток электронов пролетает сквозь два тороидальных объемных резонатора и попадает на коллектор. Для того, чтобы электроны могли свободно пролетать сквозь резонаторы и в то же самое время подвергаться воздействию электрического поля, части резонаторов, показанные на рисунке пунктиром, сделаны в виде сеток.

В первый (входной) резонатор, называемый **группирователем**, по коаксиальной линии, оканчивающейся петлей, вводится слабое переменное напряжение. Частота его должна быть равна собственной частоте резонатора. Второй (выходной) резонатор, называемый **уловите-**

лем, настроен на ту же частоту. Усиленные клистроном колебания получаются во втором резонаторе и отводятся из него при помощи петли и коаксиальной линии. Петлю связи можно уподобить рамочной антенне, состоящей из одного витка.

Процесс усиления в двухрезонаторном клистроне можно понять с помощью пространственно-временной диаграммы, приведенной на рис. 3. На ней по горизонтальной оси отложено время, а по вертикальной — расстояние электронов от катода, характеризующее положение электронов в пространстве между катодом и коллектором в тот или иной момент времени. Под диаграммой показано изменение во времени напряжения U_1 между сетками первого, а над диаграммой — изменение напряжения U_2 между сетками второго резонатора. Графики пути электронов на отдельных участках изображаются некоторыми кривыми, причем их наклон к горизонтальной оси характеризует скорость электронов.

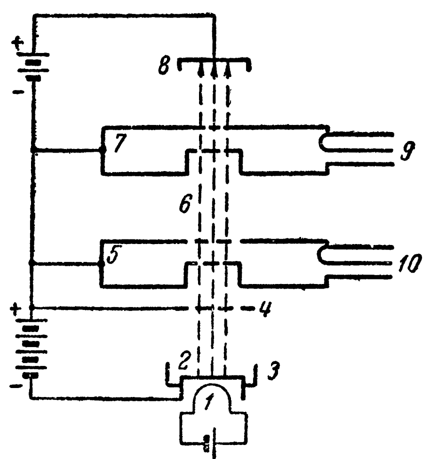


Рис. 2. Схема устройства пролетного двухрезонаторного клистрона.

1 — подогреватель; *2* — катод; *3* — фокусирующий электрод; *4* — ускоряющая сетка; *5* — первый резонатор; *6* — электронный поток; *7* — второй резонатор; *8* — коллектор; *9* и *10* — коаксиальные линии с петлями связи.

Проследим за двумя электронами: $Э_1$ и $Э_2$. На участке от катода до первого резонатора они летят в ускоряющем поле, и здесь графики их пути представляют собой параболы (если считать поле однородным). Электрон $Э_1$, вылетевший из катода в момент времени t_1, попадает в тормозящее поле первого резонатора в момент времени t_1', а электрон $Э_2$, вылетевший в момент времени t_2, попадает в ускоряющее поле этого же резонатора в момент времени t_2'.

Хотя в первый резонатор оба электрона влетают с одинаковой скоростью, в пространстве между резонаторами, называемом **пространством группирования** (или пространством дрейфа), электрон $Э_2$ будет лететь скорее, чем электрон $Э_1$, и догонит его в момент времени

t_3 в некоторой точке пространства A. В этом месте надо расположить второй резонатор.

Все остальные электроны пучка также подвергаются замедляющему или ускоряющему действию электрического поля, возбужденного между сетками первого резонатора. Процесс изменения скорости электронов в первом резонаторе называют модуляцией электронного по-

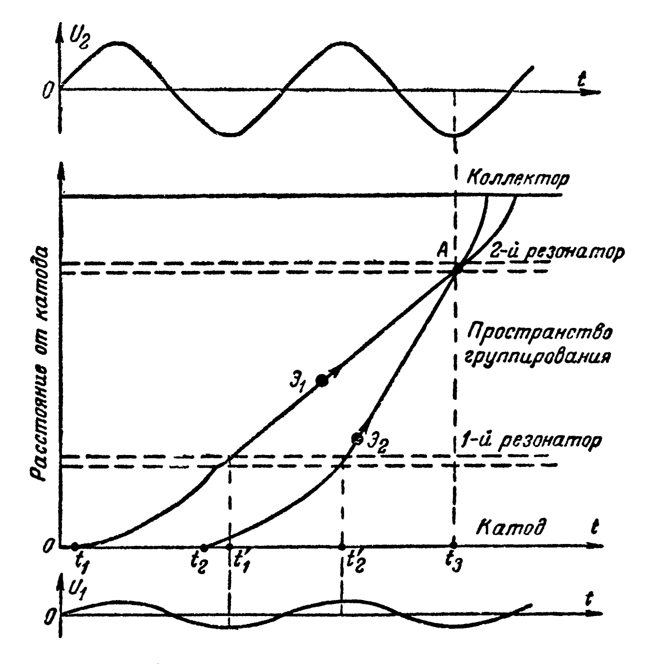


Рис. 3. Пространственно-временная диаграмма для двухрезонаторного клистрона.

тока по скорости. Поэтому клистрон принадлежит к числу ламп со скоростной модуляцией электронов.

Модулированный по скорости электронный поток, проходя пространство группирования, образует электронные сгустки, так как электроны, получившие в резонаторе дополнительную скорость, догоняют более медленно движущиеся электроны, претерпевшие в резонаторе некоторое торможение. Таким образом, получается модуляция электронного потока по плотности. Попадая в тормозящее поле второго резонатора, электронные сгу-

стки отдают ему свою энергию и возбуждают в нем незатухающие колебания.

Во времени сгустки пролетают второй резонатор через каждый период колебания. Пульсирующий электронный поток, проходящий через второй резонатор, поддерживает в нем колебания с той же частотой, с какой изменяется входное напряжение.

Процесс усиления обусловливается тем, что слабое переменное поле первого резонатора управляет сильным электронным потоком, возбуждающим во втором резонаторе значительно более сильное переменное поле. Увеличение энергии колебаний происходит за счет энергии источников питания, которые сообщают большую скорость электронам, разгоняя их в пространстве между катодом и первым резонатором.

Интересно отметить, что в клистроне инерция электронов является полезной для процесса группирования. Однако пролетное время в нем может оказывать и вредное влияние. Так, для пролета расстояния между сетками первого резонатора надо затратить некоторое время, соизмеримое с периодом колебаний. При данном ускоряющем поле первого резонатора на некоторой высокой частоте время пролета начнет сказываться на работе клистрона. Но частота эта будет значительно выше, чем у триода с расстоянием между сеткой и катодом, равным расстоянию между сетками первого резонатора клистрона. Это объясняется тем, что к сеткам резонатора электрон подлетает со значительной скоростью, гораздо большей, чем скорость электрона, подлетающего к сетке триода, так как в триоде между сеткой и катодом имеется слабое ускоряющее поле.

Итак, если оба резонатора настроены на частоту приходящих колебаний, вводимых в первый резонатор, то клистрон работает как усилитель колебаний СВЧ. А если второй резонатор настроить на частоту, в целое число раз бóльшую резонансной частоты первого резонатора, то благодаря богатству тока клистрона высшими гармониками во втором резонаторе возникнут колебания соответствующей гармоники. Клистрон будет работать как умножитель частоты. Практически возможно умножение частоты даже в 10 раз.

Усилительные и частотоумножительные клистроны выпускаются на частоты 400—10 000 *Мгц* и выше с мощностью на выходе от нескольких ватт до десятков киловатт

в непрерывном и десятков мегаватт в импульсном режиме. В усилительных двухрезонаторных клистронах может быть достигнуто усиление мощности колебаний в 1 000 раз при к. п. д., доходящем до 30%. В мощных клистронах через резонаторы пролетают чрезвычайно сильные пучки электронов, в которых ток измеряется десятками и даже сотнями ампер, а для ускорения электронов применяются напряжения до десятков и сотен киловольт.

Однако усиление мощности и к. п. д. у двухрезонаторных клистронов недостаточно велики. Значительное повышение коэффициента усиления по мощности и к. п. д. достигается в многорезонаторных клистронах, в которых электронный поток проходит последовательно через несколько резонаторов (до шести). В таких клистронах усиление мощности доходит до миллионов раз, а к. п. д. повышается до 50%.

Общими недостатками двухрезонаторных и многорезонаторных клистронов являются сравнительно узкая полоса пропускания и трудность перестройки на различные частоты. Обычно полоса пропускания составляет от десятых долей до нескольких процентов по отношению к резонансной частоте. Диапазон механической перестройки не превышает нескольких процентов. Некоторое расширение полосы пропускания может быть достигнуто путем небольшой взаимной расстройки резонаторов.

Усилительные и частотоумножительные клистроны находят широкое применение в радиорелейной связи на ретрансляционных станциях и станциях линий дальней связи на СВЧ, а также во многих других случаях.

ГЕНЕРИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДВУХРЕЗОНАТОРНЫМ КЛИСТРОНОМ

Двухрезонаторный пролетный клистрон может работать и как генератор незатухающих колебаний СВЧ. Для его самовозбуждения необходим источник начальных колебаний. Такой источник находится в самом электронном потоке клистрона.

Электронный поток не абсолютно строго постоянен во времени. Его всегда можно представить как сумму постоянной составляющей и некоторой беспорядочно меняющейся или, как говорят, флуктуирующей составляющей. Флуктуации токов электронных приборов проявляются на выходе радиоприемных устройств в виде характерного шума. Поэтому флуктуирующая составляющая электронного

потока получила название **шумовой составляющей.**

Исследования показали, что шумовая составляющая представляет собой сумму синусоидальных колебаний со всевозможными частотами. Значит, в шумовой составляющей содержатся колебания с частотами, лежащими в полосе пропускания первого резонатора. Таким образом, некоторую часть шумовой составляющей можно рассматривать как первичный источник переменного напряжения, как своеобразный задающий генератор колебаний СВЧ, который способен возбудить переменное электромагнитное поле в первом резонаторе. В результате процессов скоростной модуляции и группирования во втором резонаторе возникнут усиленные колебания. Для того, чтобы эти колебания не затухали, необходимо некоторую часть их энергии передать обратно в первый резонатор, т. е. образовать обратную связь. Это можно осуществить с помощью коаксиальной линии, связывающей оба резонатора. Ее надо подобрать по длине так, чтобы колебания, поступающие в первый резонатор, имели надлежащую фазу, обеспечивающую самовозбуждение.

Недостатком двухрезонаторных генераторных клистронов является сложность перестройки их по частоте, сводящаяся к одновременной настройке двух очень узкополосных контуров. Поэтому большое распространение в маломощных устройствах получили более удобные в эксплуатации генераторные клистроны, известные под названием **отражательных.**

ОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ КЛИСТРОН

На рис. 4 приведена схема устройства отражательного клистрона. Он содержит лишь один резонатор, а вместо коллектора имеется отрицательно заряженный электрод, называемый **отражателем.**

Представление о процессах в отражательном клистроне дает пространственно-временная диаграмма, приведенная на рис. 5. Проследим за двумя электронами: $Э_1$ и $Э_2$.

Электрон $Э_1$ вылетел из катода в момент времени t_1 и попал в ускоряющее поле резонатора в момент времени t_1'. Электрон $Э_2$, вылетевший позже первого (в момент времени t_2), попадает в тормозящее поле резонатора в момент времени t_2'. В пространство группирования между резонатором и отражателем электрон $Э_1$ влетает с большей скоростью, чем $Э_2$.

Обладая бо́льшим запасом кинетической энергии, первый электрон дольше будет сопротивляться действию тормозящего поля отражателя и ближе подойдет к нему, чем второй. Поэтому, хотя второй электрон вылетел из катода позже первого, они встретятся при возврате в резонатор в момент времени t_3 (на графике — в точке A).

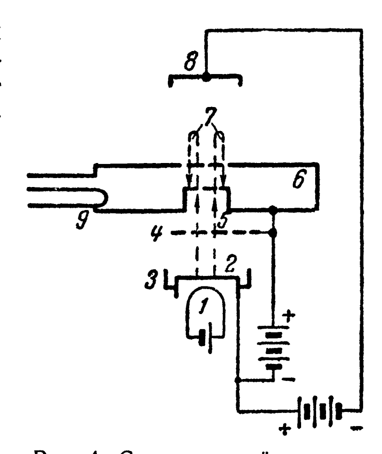


Рис. 4. Схема устройства отражательного клистрона.

1 — подогреватель; *2* — катод; *3*—фокусирующий электрод; *4* — ускоряющая сетка; *5* — прямой электронный поток; *6* — резонатор; *7* — обратный поток электронов; *8* — отражатель; *9*—коаксиальная линия с петлей связи.

Так образуются сгустки электронов. Подобрав расстояние между резонатором и отражателем и напряжение на электродах, можно добиться возвращения электронных сгустков в резонатор тогда, когда для них поле между сетками резонатора будет тормозящим. Следует обратить внимание на то, что момент времени t_3 соответствует ускоряющему полю для электронов, летящих от катода. Но для электронов, летящих в обратном направлении, это же поле, очевидно, является тормозящим.

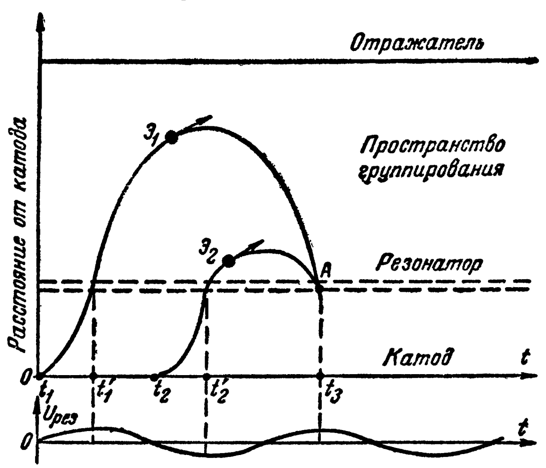


Рис. 5. Пространственно временная диаграмма для отражательного клистрона.

Первоначальное возбуждение колебаний в клистроне происходит от шумовой составляющей электронного потока. Благодаря присутствию в шумовой составляющей колебаний с частотами, лежащими в полосе пропускания резонатора, при включении клистрона в резонаторе возникнут слабые колебания. Под их влиянием произойдет модуляция электронного потока по скорости и получится слабая группировка электронов. Незначительные сгустки электронов, возвращающиеся из пространства группирования в резонатор, будут усиливать колебания в нем. Они будут нарастать до тех пор, пока ряд причин не ограничит их амплитуду на каком-то устойчивом уровне. Интересно отметить, что в отражательном клистроне обратная связь обеспечивается самим электронным потоком, пролетающим один и тот же резонатор дважды. При этом прямой и обратный потоки находятся в разных качественных состояниях.

Отражательный клистрон можно настраивать на разные частоты механически путем изменения размеров резонатора, в частности изменением расстояния между его сетками. Так как между сетками сосредоточено почти все электрическое поле, то изменение расстояния между ними можно рассматривать как изменение сосредоточенной емкости некоторого контура, эквивалентного по резонансной частоте резонатору клистрона.

На рис. 6 показаны наиболее существенные элементы конструкции металлического отражательного клистрона трехсантиметрового диапазона волн, предназначенного для работы в качестве гетеродина супергетеродинного приемника, а на рис. 7 приведена цоколевка такого клистрона.

Настройка на нужную частоту осуществляется путем изменения расстояния между сетками с помощью механизма, передающего давление на гибкую часть резонатора, которая на рис. 6 отмечена штрих-пунктирными линиями. В небольших пределах частоту можно изменять путем изменения напряжения на отражателе. Клистрон вооообще очень чувствителен к изменению напряжений на всех электродах, особенно на отражателе. Например, для клистрона трехсантиметрового диапазона волн изменение напряжения на отражателе на 1 *в* вызывает изменение частоты колебаний на 2—5 *Мгц*. При этом меняется и мощность.

Изменение частоты колебаний в клистроне изменением напряжения отражателя получило название **электронной настройки** и с успехом используется для точной

настройки гетеродина на заданную частоту и частотной модуляции, а также в системах автоматической подстройки частоты гетеродина приемника.

Маломощные отражательные клистроны, предназначенные для работы в приемниках и измерительных приборах, выпускаются на различные частоты в диапазоне 400—70 000 *Мгц* и на полезную мощность порядка единиц и десятков милливатт. Отражательные гетеродинные клистроны имеют низкий к. п. д. (не более нескольких процентов). Диапазон электронной настройки у них обычно не превышает 1—1,5% номинальной частоты. Выпускаются также более мощные отражательные клистроны с полезной мощностью до нескольких ватт.

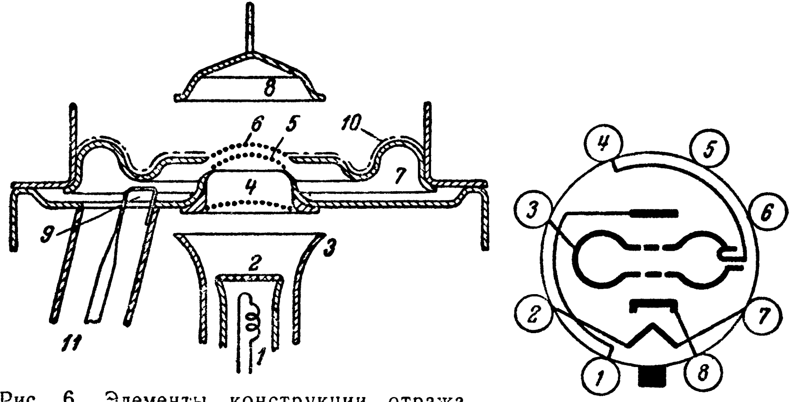


Рис. 6. Элементы конструкции отражательного клистрона.

1 — подогреватель; *2* — катод; *3* — катодный экран (фокусирующий электрод); *4* — ускоряющая сетка; *5* — первая сетка резонатора; *6* — вторая сетка резонатора; *7* — резонатор; *8* — отражатель; *9* — петля связи; *10* — гибкая часть контура, *11* — коаксиальная линия.

Рис. 7. Цоколевка маломощного отражательного клистрона.

1 — отражатель; *2* и *7* — подогреватель; *3* — резонатор; *4* — вывод энергии; *5* и *6* — свободные штырьки; *8* — катод.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ) в технике СВЧ применяется очень широко. Причина этого состоит в том, что многие генераторы СВЧ обладают невысокой стабильностью частоты.

В приемнике с АПЧ к выходу усилителя промежуточной частоты подключен дискриминатор (различитель). Он

дает постоянное напряжение, которое по знаку и величине зависит от разности частот колебаний гетеродина и сигнала. Это напряжение подается в качестве дополнительного на отражатель клистрона. Если разностная частота колебаний клистрона и приходящего сигнала равна нормальному значению промежуточной частоты, то на выходе дискриминатора напряжение равно нулю. А если частота сигнала изменится и разностная частота будет выше номинальной, то на выходе дискриминатора появится некоторое напряжение. Оно будет иметь такую полярность, что частота клистрона изменится в сторону уменьшения разностной частоты, которая приблизится к номинальному значению промежуточной частоты.

При уходе частоты сигнала в другую сторону дискриминатор выдаст напряжение противоположного знака, которое изменит частоту клистрона в другом направлении и снова приблизит разностную частоту к номинальной величине. Таким образом, АПЧ все время препятствует возникновению недопустимой расстройки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время в развитии клистронов имеется много новых интересных достижений. Большие успехи получены в создании мощных многорезонаторных клистронов. Разработаны так называемые многоотражательные клистроны, в которых один и тот же электрон несколько раз пролетает через резонатор, отдавая ему каждый раз энергию. В таких клистронах значительно повышается полезная мощность и к. п. д. доходит до 20%.

Помимо электронной и механической настройки, в отражательных клистронах применяют магнитную настройку с помощью феррита и термическую настройку, основанную на изменении размеров резонатора за счет теплового расширения вспомогательного электрода, механически связанного с резонатором и нагревающегося под влиянием электронной бомбардировки.

Клистрон — прибор, обладающий большими возможностями. Несмотря на то, что некоторые недостатки клистронов, как, например, возможность получить усиление в сравнительно узкой полосе частот, заставили искать других путей создания электронных приборов СВЧ, все же во многих случаях клистрон будет находить все более широкое применение.

Цена 40 коп.